

УДК 661:502.5

DOI: 10.15372/KhUR2022355

Экологические аспекты арктических материалов и технологий

В. М. БУЗНИК^{1,2}, А. И. НИКОЛАЕВ³¹Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов,
Москва (Россия)

E-mail: bouznik@ngs.ru

²Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина,
Москва (Россия)³Кольский научный центр РАН,
Апатиты (Россия)

Аннотация

Выполнен обобщающий анализ экологических аспектов разработки и применения материалов и химических технологий, перспективных для освоения арктической зоны и холодных регионов. Обсуждаются требования к арктическим материалам и технологиям как по функциональности, так и минимальному воздействию на окружающую среду. Рассмотрены вопросы организации производства переработки арктического сырья в местах его добычи.

Ключевые слова: арктическая зона, минеральное сырье, химические технологии, материалы, экология, антропогенные загрязнения

ВВЕДЕНИЕ

Арктика всегда привлекала внимание человечества своей необычностью, труднодоступностью, загадочностью и другими особенностями, но в первую очередь – богатством природных ресурсов и стратегическим положением. Как показал исторический опыт, освоение арктической зоны (АЗ) невозможно без материалов и технологий, которые могут эффективно применяться в суровом климате, обеспечивая комфортное проживание людей и производственную деятельность в промышленных масштабах. Что касается экологии Арктики и влияния на нее антропогенных факторов, то в последние десятилетия эта тематика особенно актуальна и вышла за рамки научных исследований, захватив политику, экономику, общественную жизнь. Общеизвестные издания и средства массовой информации в основном обсуждают следующие моменты: текущее состояние окружающей среды региона; влияние на нее глобальных климати-

ческих вариаций и антропогенного воздействия; активно муссируется вопрос: “Кто виноват?”. Для научных изданий характерен иной аспект: конкретные технологии, процессы и возможность снижения их негативного влияния на окружающую среду; аналитический мониторинг нежелательных веществ как в среде, так и в продуктах промышленного производства, и др. В конечном счете идет поиск конкретных действий, направленных на решение второго вопроса: “Что делать?”. В большинстве случаев решаются определенные проблемы по конкретным материалам и технологиям и отсутствует обобщающий анализ влияния используемых материалов и технологических процессов на экологию. В данной статье предпринята попытка такого анализа.

ПОНЯТИЙНОЕ ОПИСАНИЕ ПРЕДМЕТОВ АНАЛИЗА

Разумно провести понятийное описание используемых в статье определений и терминов.

В Большой советской энциклопедии дано следующее определение Арктики: “единый физико-географический район Земли, примыкающий к Северному полюсу и включающий окраины материков Евразии и Северной Америки, весь Северный Ледовитый океан (СЛО) с островами, а также прилегающие части Атлантического и Тихого океанов” [1]. К арктическим государствам относят страны, имеющие выход к морям СЛО, таковых пять: Россия, США, Канада, Дания и Норвегия. В России указом Президента РФ введено административно-юридическое определение арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) [2]. Холод – основной климатический признак Арктики, но его присутствие не ограничивается отмеченными в Указе территориями, и многие регионы континента зачастую климатически более суровые. Так, полюс холода в северном полушарии расположен в Якутии (-71.2°C , п. Оймякон, 1924 г., <https://basetop.ru/10-samyih-holodnyih-gorodov-mira/>). При рассмотрении материалов и технологий более рационально под АЗРФ понимать области с холодным климатом, без жесткой привязки к административному делению территорий [3].

К климатическим особенностям АЗ помимо низких температур следует отнести их преобладание на протяжении года; значительную амплитуду перепада летних и зимних температур (в Якутии она достигает 100°C); частые переходы через точку замерзания воды и таяния льда; сильные ветровые нагрузки; высокую влажность атмосферы; ледовые и снежные покровы; высокую солнечную радиацию в период полярного дня и др. Сочетание этих особенностей делает арктический климат особо суровым для человека, используемых материалов, техники и сооружений. Разные территории АЗРФ могут сильно отличаться по перечисленным параметрам, и это следует учитывать при эксплуатации арктических материалов и технологий.

Существует ряд определений материалов, но ниже будем придерживаться понятия, предложенного академиком И. В. Тананаевым: вещество, обладающее свойствами, обеспечивающими его практическое применение. Арктическое материаловедение (АМ) разумно считать междисциплинарной наукой, включающей: создание материалов; изучение их строения; поиск управления свойствами; разработку технологий производства; выявление областей применения и условий эксплуатации. Науки, создающие базу АМ, можно разделить на две группы. Первая формирует материаловедческую компоненту: химия во

всем ее разнообразии (от аналитической до ядерной), химическая технология, физика, математика, механика, биология, машиностроение, транспорт, строительство и др. Вторая группа связана с науками, описывающими условия их эксплуатации в АЗ: климатология, гляциология, океанология, экология, география и др.

Помимо климатических особенностей для АМ существенен логистический фактор в силу удаленности АЗ от промышленных центров и мест массового проживания населения. Как следствие, в АЗ завозится “всё и все” (люди, техника, строительные материалы, горючее, питание и все необходимое для быта и работы людей и др.) с использованием разных видов транспорта, включая дорогостоящий, что приводит к удорожанию завозимых товаров, материалов.

ОСОБЕННОСТИ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Химические технологии подразумевают рациональные варианты переработки природного, техногенного и вторичного сырья с учетом технической осуществимости, экологической безопасности и экономической эффективности. Под арктическими технологиями разумно подразумевать химические процессы, применяемые в АЗ при промышленной добыче и переработке сырья, с получением продукции, которая может быть использована и в АЗ. В отличие от традиционных технологий, арктические реализуются в специфических климатических условиях, которые требуют применения конструкционных и иных материалов, сохраняющих работоспособность и обеспечивающих безопасность для обслуживающего персонала и для окружающей среды. Соблюдение этих требований к химическим технологиям в АЗ сопряжено с более высокими затратами, что снижает экономическую привлекательность арктических технологий.

Неоднородность климатических условий в различных секторах АЗ сказывается и на реализации химических технологий. К наиболее промышленно развитым регионам АЗ относится Кольский полуостров (Мурманская область). Это самый теплый регион в нашей АЗ и чрезвычайно богатый минеральными ресурсами. По уровню урбанизации он не уступает большинству регионов центральной части России.

На Кольский полуостров приходится около 1 % территории России, но при этом доля производимого сырья и конечной продукции многократно выше. Например, по данным на 2013 г. в

регионе производилось, %: апатитового концентрата – 100; слюды и концентратов ниобия и тантала – 80–100; нефелинового концентрата и бадделейта – 100; никеля – 45; керамического сырья – 35; меди – 13; железорудного концентрата – 9.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Важной особенностью природы АЗ является ее низкая экологическая устойчивость к внешним воздействиям, включая антропогенные. Экологическая “хрупкость” связана в определенной степени с особенностями флоры, которая формируется климатическими и географическими факторами. В первую очередь, это вечная мерзлота грунта, ограничивающая возможность растений иметь мощную корневую систему, что, наряду с сильными ветровыми нагрузками, обуславливает приземистость большинства растений, обеспечивая их укрытие снежным покровом и защиту от зимних морозов. Короткое лето ослабляет вегетативный период, в течение которого происходит наращивание биомассы растений, несмотря на солнечную активность в полярный день. Дополнительным фактором, определяющим экологические особенности АЗ, является ограниченность (вплоть до практического отсутствия) биохимически активного слоя почвы, обеспечивающего биodeградацию загрязнений, в том числе техногенных. Если в других климатических зонах антропогенное воздействие на флору восстанавливается за короткий период, то в тундре след вездехода может оставаться десятилетиями. Естественно, что особенности флоры сказываются и на фауне. Безусловно, в числе первоочередных мер снижения нагрузки на природу АЗ следует рассматривать возможность складирования загрязняющих отходов в пустотах горных выработок или дополнительное использование хотя бы части отходов для производства востребованных строительных или иных материалов, а также предусматривать вывоз наиболее токсичных отходов за пределы АЗ.

Основной источник воздействия на арктическую среду – природные климатические изменения, в том числе и глобальное потепление, влияющее на ледовый покров Арктики и вечную мерзлоту. Они связаны с временной вариацией излучения Солнца и его расположением относительно Земли. Помимо этого, активно “педалируется” точка зрения, что промышленная деятельность человека вызывает разбалансировку планетарных климатических процессов,

ускоряя глобальное потепление. Не обсуждая достоверность воздействия антропогенного фактора на глобальный процесс потепления, необходимо признать его очевидное негативное проявление в местах интенсивной добычи и переработки арктического сырья. Типичным примером служит нарушение экологического равновесия при наращивании мощностей по добыче и переработке сульфидного медно-никелевого сырья комбинатом “Североникель” (Кольская ГМК, компания “Норникель”). Бывший самым зеленым в области Мончегорский регион превратился в самый грязный на Кольском полуострове. За счет дорогих природоохранных мероприятий обстановка медленно улучшается, но до первоначального восстановления природы потребуются еще не одно десятилетие. Следует отметить особенности техногенных аварий в АЗ, связанные со сложностью их устранения по финансовым затратам, времени устранения и технологическим сложностям.

Как отмечалось, в современном экологическом движении можно отметить два подхода. Первый – публичный и очень шумный, состоящий в поиске виноватых; в нем участвуют государственные структуры, включая профильные министерства, надзорные органы, различные общественные организации, средства массовой информации. Второй подход ориентирован на поиск научно-технических решений конкретных проблем, он менее резонансный, далек от политики и требует соответствующей научно-образовательной компетенции, а не только эмоциональных проявлений беспокойства за человечество и планету. Число людей, реализующих второй подход, значительно меньше, и, в первую очередь, это специалисты, изучающие и осваивающие Арктику. Разумеется, к ним относятся химики, технологи и материаловеды.

ПОЧЕМУ НАДО ИЗУЧАТЬ И ОСВАИВАТЬ АРКТИЧЕСКУЮ ЗОНУ!

Арктическая зона – неотъемлемая часть планеты Земля, и она играет важную роль в формировании глобального климата. Естественно желание понимать состояние эволюции планеты и ее климата, а потому необходимо системное и всестороннее изучение Арктики [4]. Высокая чувствительность природы Арктики к вариациям климата делает ее барометром, предсказывающим проблемы общепланетарного масштаба. Другая причина изучения Арктики – необходимость ее освоения, особенно для

РФ, в силу ряда факторов. Первый – наличие в АЗ большого количества полезных ископаемых углеводородных (газ, нефть) и минеральных [5, 6], а также биологических ресурсов. Второй фактор – логистический: через АЗ проходят наиболее удобные маршруты многих трансконтинентальных авиационных перелетов. Особо следует отметить перспективу перевозок северным морским путем (СМП), поскольку он наиболее короткий из Европы в Юго-Восточную Азию и, несмотря на ледовые сложности прохода, свободен от проблем, с которыми в этом году столкнулся Суэцкий канал, когда авария одного судна на неделю закрыла основной морской маршрут. На перспективу СМП “работает” глобальное потепление и значительное усовершенствование современного ледового флота. Третий фактор связан с обороноспособностью страны. Россия имеет выдающиеся по протяженности северные и восточные морские границы, которые сложны для защиты.

ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ

Несмотря на относительно слабую промышленную и транспортную инфраструктуры АЗРФ, степень их воздействия на окружающую среду значительна. Министерство природных ресурсов и экологии РФ издает ежегодные Государственные доклады “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации”, и показатели по выбросам и загрязнению в 2017 г. по АЗРФ таковы: суммарное количество газовых выбросов 6 908.388 тыс. т, из них лишь 53 % поступило на очистные сооружения, а остальное напрямую выброшено в атмосферу. Что касается твердых отходов, то на территории АЗРФ их объемы превышали 32 млн т, а утилизировано лишь 58 % [7].

Производственные, транспортные и военные объекты в АЗРФ сконцентрированы в отдельных регионах, поэтому на них приходится наибольшая антропогенная нагрузка, а зачастую и перегрузка. В проекте ЮНЕП/ГЭФ “Российская Федерация – Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды” выделено 12 районов, входящих в АЗРФ, в которых негативное антропогенное воздействие привело к необратимым изменениям природной среды (табл. 1) [8].

Как следует из данных табл. 1, среди оценок ситуации в регионах преобладают: напряженная, критическая, кризисная, что отображает

сложность экологической ситуации в промышленных регионах и требование безотлагательного и серьезного отношения к проблеме. Наиболее опасная ситуация, характеризующаяся как катастрофическая, связана с авариями на объектах атомной энергетики и военной инфраструктуры, что может привести и к радиоактивным загрязнениям.

Отмеченные в табл. 1 районы относятся к местам добычи и переработки сырья. Наиболее значимой по объемам добычи и переработки следует считать Мурманскую область. Еще в начале 40-х годов прошлого века академик А. Е. Ферсман предпринял попытку реализовать ноосферные идеи академика В. И. Вернадского при освоении природных ресурсов Кольского полуострова [9]. Он исходил из того, что если природа предпочитает концентрировать на определенных территориях сочетание сырья разного химического состава, то и производство необходимо организовывать соответственно, добывая не отдельные компоненты, а весь имеющийся геохимический спектр элементов [10]. Развитие Хибинского комбината, по замыслу А. Е. Ферсмана, представлялось на основе использования всей горной массы, минимума привозного сырья, получения высококачественной продукции при полном отсутствии отходов. Он считал, что нужно заострить научно-техническую мысль и добиваться правильного производства, где не пропадет ни грамма добытой горной массы, не будет отбросов, где ничто не улетает в воздух и не смывается водой [9]. А. Е. Ферсман отмечал, что комплексная идея в корне экономичная, создающая максимальные ценности с наименьшей затратой средств и энергии: “Это идея охраны природных богатств от их хищнического расточения, идея использования сырья до конца, идея возможного сохранения наших природных богатств на будущее” [9].

Обсуждение комплексной переработки многокомпонентного минерального сырья разумно провести на примере апатит-нефелиновых руд (АНР) Хибинских месторождений – уникального явления в геологии как по запасам фосфорсодержащего сырья, так и по сопутствующим ценным компонентам в породообразующих минералах, прежде всего, – апатиту, нефелину, сфену и титаномagnetиту. Научные основы переработки комплексного сырья АНР изучены достаточно подробно. Разработанные технологии демонстрируют возможность извлечения практически всех ценных компонентов из минеральных концентратов АНР, но на практике эффективность использования сырья остается

ТАБЛИЦА 1

Проблемные экологические районы российской Арктики

№	Район	Источник загрязнения	Приоритетные загрязняющие вещества	Оценка остроты экологической ситуации
1	Западно-Кольский	Цветная металлургия, горнодобывающая промышленность	Диоксид азота, пыль, тяжелые металлы (Cu, Ni, Co), фтористый углерод	Кризисная
2	Центрально-Кольский	Цветная металлургия, горнодобывающая промышленность, АЭС, транспорт	Диоксиды серы и азота, пыль, тяжелые металлы (Cu, Ni, Co, Pb, Cr), Sr, P, радионуклиды	Кризисная (катастрофическая в случае аварии на АЭС)
3	Карельский	Целлюлозно-бумажная промышленность, лесопромышленный комплекс	Диоксиды углерода, серы и азота, метилмеркаптан, лигносульфаты, метанол, ртуть, фурфурол, фенолы	Напряженная
4	Архангельский	Целлюлозно-бумажная промышленность, лесопромышленный комплекс, машиностроение, теплоэнергетика, транспорт	Диоксиды углерода, серы и азота, тяжелые металлы, метилмеркаптан, лигносульфаты, фенолы, формальдегид, метанол, ПАУ	Критическая
5	Тимано-Печорский	Добыча и транспортировка углеводородного сырья	Нефтепродукты, диоксиды углерода, серы и азота, тяжелые металлы, ПАУ	Критическая
6	Воркутинский	Горнодобывающая промышленность, теплоэнергетика, стройиндустрия	Пыль, тяжелые металлы, ПАУ, сажа, углеводороды	Критическая
7	Новоземельский	Военные объекты, затопление ядерных установок и радиоактивных отходов	Радионуклиды, тяжелые металлы	Критическая (потенциально кризисная)
8	Нижне-Обский	Добыча и транспортировка углеводородного сырья	Нефтепродукты, диоксиды углерода, серы и азота, тяжелые металлы, ПАУ	Критическая
9	Норильский	Цветная металлургия, горнодобывающая промышленность	Диоксиды серы и азота, пыль, тяжелые металлы, мышьяк, формальдегид, сажа	Кризисная
10	Яно-Индигирский	Горнодобывающая промышленность	Пыль, тяжелые металлы, механические нарушения геосистем	Напряженная
11	Западно-Чукотский	Горнодобывающая промышленность, АЭС	Тяжелые металлы, пыль, радионуклиды	Напряженная (катастрофическая в случае аварии на АЭС)
12	Восточно-Чукотский	Горнодобывающая промышленность	Тяжелые металлы, пыль, ПАУ, углеводороды, сажа	Напряженная

Примечание. АЭС – атомная электростанция; ПАУ – полициклические ароматические углеводороды.

невысокой, что объясняется малой потребностью рынка и низкими экономическими показателями производства отдельных продуктов. Наиболее полно из АНР извлекается апатитовый концентрат, используемый для производства фосфорсодержащих удобрений, фосфорной кислоты и других соединений фосфора. Еще одним извлекаемым продуктом переработки апатита являются фторсодержащие соединения, а соединения стронция и редкоземельных элементов (РЗЭ) теряются при переработке, несмотря на наличие отработанных схем извлечения, хотя они входят в перечень компонентов, учитываемых госзапасами. Созданные на предприятиях холдингов “Акрон” и “ФосАгро” опытно-промышленные производства подтвердили

возможность получения качественного концентрата РЗЭ, но они не востребованы на рынке. Создание соответствующих промышленных производств возможно только при условии наличия госзаказа на концентраты РЗЭ и компенсации экономических потерь предприятиям, производящим импортозамещающую продукцию. Производство индивидуальных РЗЭ должно быть организовано на отдельном предприятии с учетом требований рынка к качеству и количеству продуктов, включая потребности отраслей, обеспечивающих оборонную безопасность страны.

В нынешней ситуации очевидно, что бизнес и государство отдельно не способны справиться с комплексным промышленным освоением новых сложных технологий. Во-первых, нужны иници-

атива и готовность посвятить значительный отрезок времени реализации проектов без стопроцентных гарантий успеха. Во-вторых, необходимы серьезные финансовые вложения с длинным периодом окупаемости. Поэтому требуется объединение усилий всех сторон: государства, бизнеса, науки и образования. Только это позволит создать экономически эффективные предприятия с современными мировыми экологическими стандартами. Бизнес должен выступать инициатором промышленного освоения регионов, а задача государства сводится к поддержке инициативы, выдаче долгосрочных кредитов с низкими процентными ставками, стимулированию специальными налоговыми режимами и др. [10].

КОНКРЕТНЫЕ ОБЪЕКТЫ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДУ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Перечень источников загрязнений в АЗРФ довольно обширный: автомобильные дороги, железнодорожные пути; портовые сооружения; линии электропередач (ЛЭП); газо- и нефтепроводы; энергетические объекты (ГЭС, ТЭС, ГРЭС, ТЭЦ, АЭС); промышленные предприятия (горно-металлургические, горно-химические, горно-обогатительные комбинаты и др.); места добычи углеводородного, минерального и биологического сырья (скважины, карьеры, лесоповалы и пр.); жилые и промышленные сооружения и другие объекты арктической инфраструктуры. Существующие и создаваемые в Арктике объекты оказывают негативное экологическое воздействие как в процессе их строительства, так и при их эксплуатации. Перечисленные источники загрязнения подробно описаны в работе [11], поэтому в рамках данной статьи рассмотрим их в обобщенном виде.

При строительстве крупных транспортных и промышленных объектов (автомобильных дорог и железнодорожных путей, ЛЭП, трубопроводов, мест добычи минерального, углеводородного сырья и объектов их переработки и др.) происходит изъятие значительных территорий, сопровождаемое вырубкой растительности и большим объемом земельных работ. Естественно, это скажется на состоянии флоры, фауны, ландшафта, криосферы и повлияет на водотоки. В этой ситуации необходимо тщательное планирование маршрутов прокладки ЛЭП, нефтепроводов, дорог, оптимальное не только с позиции логистики и экономики, но и экологии. При проектировании трубопроводов и дорог должны учитываться пути

миграции диких животных, чтобы снизить препятствие их движению по веками сложившимся маршрутам. Строители во время работ должны использовать “гуманные” приемы и подходы по отношению к окружающей среде, к примеру, при эксплуатации гусеничной техники применять полимерные калоши, смягчающие воздействия на почву, использовать максимально экологичные горюче-смазочные материалы и соответствующую строительную технику. Строительство дорог сопровождается использованием большого количества камня, щебня, песка, извлекаемых из карьеров, которые нарушают ландшафт и влияют на флору и фауну, изменяют местные водотоки. В процессе строительства используется много воды, и сброс ее без очистки может ухудшить качество региональных водных запасов. При обустройстве мест лесоразработок требуется создание дорог для вывоза леса к местам переработки, подобных “гулаговским трассам” в Сибири, что приводит к дополнительной нагрузке на окружающую среду. При строительстве горно-металлургических, горно-химических, горнорудных и обогатительных комбинатов происходит загрязнение почв, открытых водоемов и подземных вод, нарушение ландшафта. Выбор локации предприятия должен учитывать розу ветров для минимизации пагубного действия газообразных и пылевых выбросов. В качестве примера можно упомянуть “лисьи хвосты” — следы от воздействия на тундру газообразных выбросов предприятий Норильского промышленного района, простирающиеся на десятки километров, что дает повод США и Канаде роптать о варварстве России, приводящем к глобальному разрушению экологии Арктики.

Каково же негативное воздействие на окружающую среду при эксплуатации промышленных, транспортных объектов, жилищно-коммунального хозяйства? В случае ЛЭП оно проявляется в наведении электромагнитных полей в прилегающем пространстве, что может отрицательно влиять на фауну и население. Наибольший вред наносят аварии, требующие значительных ремонтных работ при устранении их последствий, поскольку привлекается тяжелая техника. Еще более опасны техногенные аварии на нефте- и газопроводах, зачастую сопровождаемые взрывами, пожарами и нефтяными разливами, которые трудно ликвидируемы во всех климатических зонах, но особенно в зонах с холодным климатом. Необходимые действия для предупреждения аварий: использование мате-

риалов, обеспечивающих надежную и долгую безаварийную эксплуатацию трубопроводов в холодных условиях; соблюдение технологической культуры их эксплуатации в сочетании с регламентными проверками их состояния.

Негативное влияние эксплуатации дорог выражается в загрязнении воздушной и водной сред продуктами сгорания топлива (оксиды серы, углерода, азота, зола, сажа, мазут и др.) [11]. И в этом случае наиболее критичны аварии, сопровождаемые разливом топлива, пожарами, попаданием в окружающую среду перевозимых вредных и токсичных продуктов. Эксплуатация авто- и железнодорожных трасс, как правило, сопровождается их замусориванием металлами, пластмассой, стеклом, тканями, бытовыми и ремонтными отходами. Эксплуатация арктических дорожных трасс подразумевает системный и внимательный уход, включая ремонт, что важно для уменьшения аварийности транспорта. К примеру, полотно железной дороги Норильск – Дудинка в теплый период нуждается в подсыпке щебня, поскольку часть насыпи погружается в оттаивающий грунт. Действия, направленные на снижение негативного воздействия такого рода, состоят, прежде всего, в использовании экологичного топлива и смазочных материалов, соблюдении культуры эксплуатации транспорта и природопользования, рациональной утилизации отходов.

Что касается энергетических объектов, то в случае тепловых станций их негативное влияние проявляется в газообразных выбросах, требующих очистки. Твердые отходы следует перерабатывать в полезные продукты или должным образом утилизировать. На станциях, использующих нефтепродукты и природный газ, ситуация лучше, поскольку нет твердых отходов, а газообразные выбросы гораздо чище. Эксплуатация ГЭС сопряжена с вынужденными сбросами воды при экстремальных паводках. Что касается АЭС, то они наиболее экологичны при штатной эксплуатации, но потенциально опасны в случае аварий, устранение которых в АЗ особо затруднительно в технологическом и экономическом отношениях.

Очевидны необходимость соблюдения экологических требований при эксплуатации месторождений, в частности при использовании мягких технологических реагентов, совершенствование технологии добычи для ослабления нагрузки на окружающую среду, а также существующих нормативов эксплуатации. Свежий пример: в

результате разгерметизации хранилища мазута более 21 тыс. т топлива разлилось за пределы промзоны, из них 6 тыс. т попали в грунт, 15 тыс. т – в р. Далдыкан. Владелец резервуара компания “Норникель” выплатила рекордный для РФ штраф в размере 146 млрд рублей за ущерб, причиненный окружающей среде. При эксплуатации карьеров, шахт добытое сырье перевозится на большие расстояния и окружающая среда получает дополнительную нагрузку.

Производственная деятельность горнорудных и обогащательных предприятий сопровождается образованием значительных объемов отходов, складируемых в отвалы и часто содержащих ценные химические продукты. Так, в отвалах и хвостохранилищах АО “Апатит” накоплено более 1 млрд т отходов, и они растут, усугубляя проблемы для населения и природы. В этом случае рационально применение технологий, обеспечивающих комплексное извлечение максимального числа товарных продуктов, при соблюдении экологических факторов, что отмечал академик А. Е. Ферсман [9]. Важную роль для минимизации экологического воздействия газообразных, пылевых и жидких выбросов играет совершенствование промышленных технологий и систем очистки выбросов.

Несоблюдение технологии вырубки леса приводит к тому, что на делянах остается большое количество неkomмерческой древесины, препятствующей восстановлению леса. Переработка древесной продукции сопровождается большим количеством отходов, содержащих лигнин, которые сложны для утилизации и повторного использования. Арктическое растительное сырье в силу климатических особенностей содержит ценные для фармацевтики и косметологии вещества, но их извлечение сложно и требует разработки эффективных и экологических технологий (например, технология экстракции сверхкритическими флюидами) [12].

Сказываются на природе АЗ наличие военной инфраструктуры (баз, аэродромов, дорог и т. д.), эксплуатация техники, которая не всегда задействует дороги при выполнении заданий. Жилищно-коммунальное хозяйство также оказывает нагрузку на ландшафт при строительстве жилья и социальных объектов, а их эксплуатация сопряжена с появлением бытовых отходов. Очевидна необходимость ориентации на материалы, дружественные к окружающей среде как при эксплуатации, так и при утилизации отходов. Необходимо и повышение экологической культуры населения.

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ И ТЕХНОЛОГИЯМ, ПРИМЕНЯЕМЫМ В АРКТИКЕ

Основное требование к арктическим материалам – сохранение эксплуатационных свойств в холодном климате. Помимо этого, они должны быть надежными и долговечными (их завоз дорог, а ликвидация аварий в холодных регионах оборачивается значительными технологическими и экономическими проблемами), а также ремонтируемыми в местах эксплуатации. Еще одно требование – учет незащищенности арктической природы к антропогенному воздействию и стремление к ее минимизации.

Какие материалы наиболее уязвимы в Арктике? Негативному воздействию холодов подвержены стали, изделия из которых в напряженном состоянии проявляют хладноломкость при отрицательных температурах, что может приводить к повреждению конструкций. Природа хладноломкости многофакторная: внешние воздействия; особенности свойств разных кристаллических фаз железа; размер кристаллических зерен; наличие примесей и др. В настоящее время научно-технические проблемы устранения хладноломкости в принципе решены специальным легированием и соответствующей термомеханической обработкой – созданы марки хладостойких сталей, используемые при строительстве северных трубопроводов, арктических судов и отечественной морской нефтедобывающей платформы “Приразломная” [13]. Ныне ведется поиск технологических приемов, обеспечивающих оптимальное сочетание функциональных и экономических показателей разных марок и предназначений хладостойких сталей.

Другой уязвимый материал – полимеры, которые при отрицательных температурах стеклуются, кристаллизуются, теряя эксплуатационные достоинства и становясь хрупкими, что может сопровождаться разрушением. Полимеры используются в качестве конструкционных и функциональных материалов для создания различных деталей, используемых в технических устройствах. В настоящее время разработаны полимерные композиционные материалы, имеющие существенные функциональные и эксплуатационные достоинства, применяемые во многих отраслях, к примеру в авиа- и судостроении. Высокомолекулярные соединения входят в состав смазочных материалов, герметиков, клеев, обеспечивая эффективность и надежность ответственных узлов техники северного исполнения. Ведется активный поиск составов с повы-

шенной морозостойкостью. В Арктике на структуру и функциональное состояние полимеров влияет также солнечная радиация в полярный день, поэтому необходимо создание стойких материалов.

В отличие от материалов, предназначенных для узкого использования (например, катализаторов, применяемых в одном химическом процессе), арктические материалы разрабатываются для разных устройств и могут эксплуатироваться во многих климатических зонах, но обязательно должны быть применимы в Арктике. Арктические материалы должны максимально сохранять эксплуатационные свойства и потому должны быть устойчивы к внешним воздействиям, но, отработав ресурс, они будут долго храниться в естественных условиях. В этом заключается противоречие функциональных и экологических требований, предъявляемых к арктическим материалам, и разрешать его приходится индивидуально для каждого материала. Материалы, содержащие ценные дефицитные компоненты, после прекращения их эксплуатации должны поступать на повторную переработку, как это делается во многих развитых странах.

Практикуются два способа приготовления арктических материалов: первый состоит в придании уже известному соединению дополнительных свойств, к примеру хладостойкости и гидрофобности, которые обеспечат его применение в арктических условиях; второй – создание материалов, априори нацеленных на применение в Арктике, но это не исключает их использования в других климатических зонах.

Проблемы технологии добычи и переработки сырья в АЗ во многом совпадают с проблемами для любых регионов, но специфические условия АЗ накладывают дополнительные требования на технологов. В работе [14] сформулированы основные правила для технологов при выборе сырья, реализации процесса переработки и долговременной перспективности производства в АЗРФ:

- В природе нет ничего лишнего, есть непристроенное.

- Месторождения выбираются по запасам, изученности, доступности, по ликвидности продукта.

- В основе жизнеспособности технологии лежат экономические показатели.

- Где строить предприятие по переработке? Рядом с месторождением или ближе к реагентам и потребителю.

- Учитывать требования потребителей по приемлемым качеству и цене продуктов, объема производства и рынка сбыта.

- Производственные схемы должны быть легко перенастраиваемыми в зависимости от требований рынка.

- Думать о новых продуктах, способных создать конкуренцию известным маркам продуктов.

- Чем меньше реагентов используется в схеме, тем меньше будущих отходов и ниже себестоимость.

- Сегодняшний отход завтра может стать ликвидным товаром.

- Ориентироваться на “зеленые” технологии и сертифицированные продукты.

- Кадры могут решать все, когда они обучены и подготовлены.

- Максимально использовать в технологии непрерывные процессы, думать о снижении энергопотребления.

Освоение месторождений в АЗ имеет инновационный характер, поскольку требует создания нестандартных технологических подходов и приемов, разработки и реализации энерго- и ресурсосберегающих, малоотходных, экологически сбалансированных технологий добычи и переработки сырья. Сырье АЗ и технологии его переработки обуславливают необходимость уточнения и совершенствования геолого-экономической оценки, обоснования параметров кондиций, определения экономически рационального перечня извлекаемых компонентов и ассортимента готовой продукции, экономической эффективности использования сырья, обоснования оптимального варианта инвестиционного проекта и т. п.

Интересным решением проблем организации химических производств в АЗРФ является идея создания Кольского химико-технологического кластера (КХТК) (рис. 1) [15].

Кластер предназначен, прежде всего, для доработки и апробации технологических схем с учетом постоянного усовершенствования аппаратного и технологического процесса, получения данных для расчета экономических показателей и подготовки технико-экономического обоснования новых производств. Основная номенклатура получаемых продуктов включает материалы, потребность в которых составляет от десятков или сотен кг/год, например: специальные герметики на основе диоксида титана для авиакосмической отрасли, порошки редких металлов (Ta, Nb и др.), материалы для оптоакустоэлектроники (LiNbO_3 , LiTaO_3 и др.), при-

родоподобные аналоги редких минералов как эффективные катализаторы для органического синтеза, сорбенты для очистки стоков от радионуклидов и других токсичных компонентов. Уже имеющиеся в зарождающемся КХТК пилотные установки частично решают подобные задачи. Планируемое создание более крупных установок, по нашему мнению, действительно может покрыть потребности в ряде подобных продуктов не только для региона, но и страны. Организация кластеров такого направления в АЗРФ – не просто набор используемых технологий в одном месте из местного сырья, а реализуемая модель перехода от сырьевой экономики, характерной для России, к инновационной. Такие кластеры способны полностью обеспечить потребности АЗ в ряде видов импортозамещающих, стратегических и конструкционных материалов, не причиняя заметного вреда природе. Проект создания и развития КХТК основывается на конкурентных преимуществах региона.

Первые шаги в создании КХТК сделаны – создана пилотная установка по получению аналогов редких титаносиликатных минералов как функциональных материалов для переработки жидких радиоактивных отходов и стоков, молекулярных сит для разделения газов. Эффективное использование имеющихся опытных производств Федерального научного центра “Кольский научный центр Российской академии наук” и горно-обогатительных и металлургических предприятий региона – АО “Апатит”, “Ковдорский ГОК”, “Кольская ГМК” – расширяет возможности КХТК и будет способствовать ускорению создания и применения новых материалов в АЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная экологическая задача химиков и материаловедов состоит в создании технологий и материалов, минимизирующих негативное антропогенное воздействие на природу АЗ.

Можно выделить три направления, наиболее релевантных к экологии: аналитическая химия, химические технологии и материаловедение.

Основное назначение аналитической химии связано с мониторингом состояния окружающей среды, суть которого состоит в наблюдении за химическим составом атмосферы, гидросферы, криосферы и литосферы для установления изменений в окружающей среде и причин их происхождения. Следующая задача – контроль про-

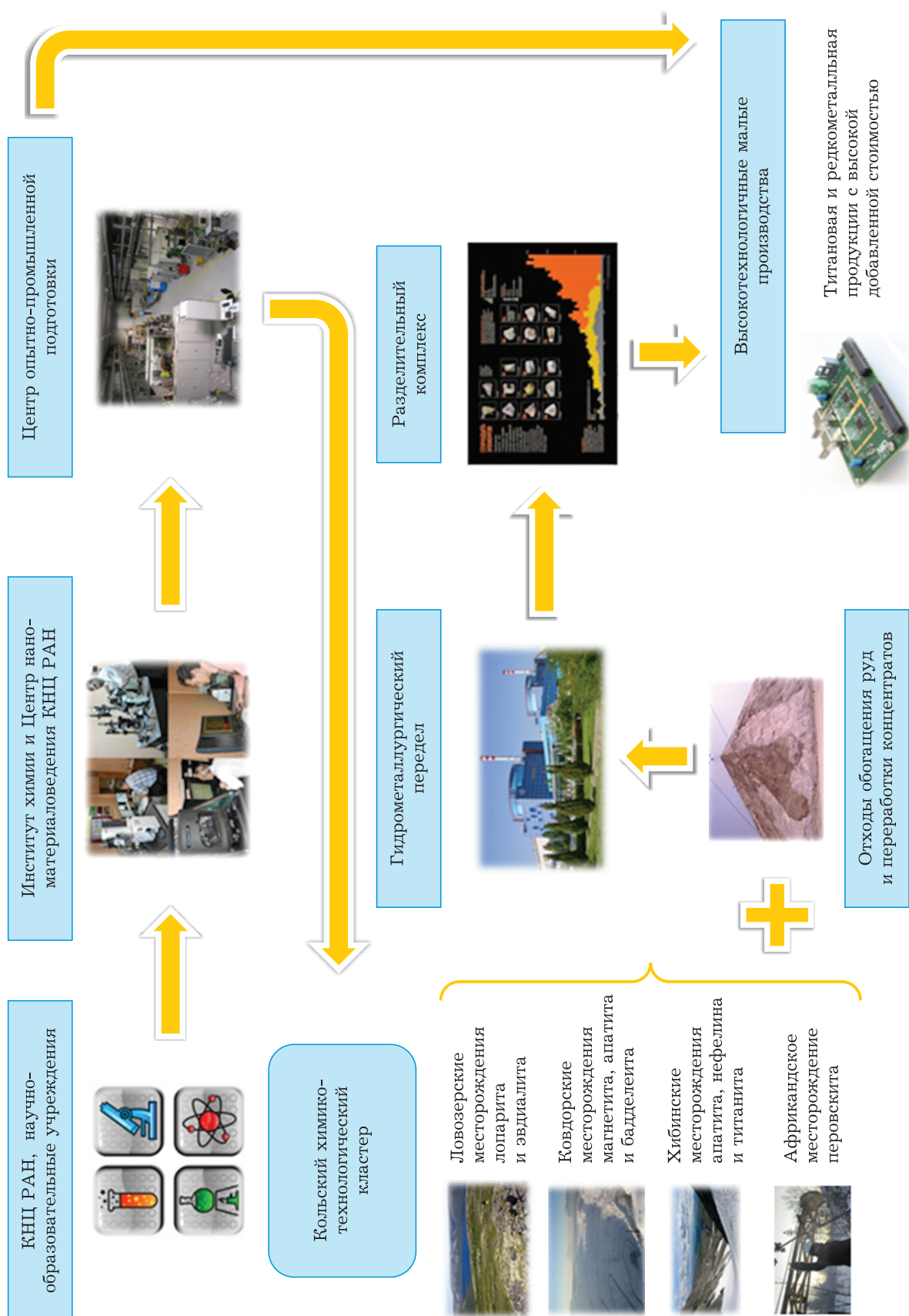


Рис. 1. Схема Кольского химико-технологического кластера на базе действующих предприятий горнопромышленного комплекса.

мышленных выбросов, что дает информацию и ориентирует на действия для устранения отклонений от экологических нормативов производства. Следует отметить мониторинг добываемого природного сырья, состав которого может сильно влиять на экологическую оптимальность его переработки и объем вредных выбросов. Еще одно направление – контроль продукции промышленного производства на ее соответствие экологическим нормативам.

Что касается химической технологии, то здесь подразумевается следующее: 1) разработка процессов химического и металлургического производств в Арктике со сниженным воздействием на окружающую среду; 2) создание технологий переработки минерального, углеводородного, растительного и животного сырья, добываемого в Арктике, эффективных в плане экономики и экологии (последнее особо важно, если сырье перерабатывается в самой АЗРФ); 3) создание технологий переработки производственных отходов для уменьшения нагрузки на окружающую среду, а также разработка экологичных способов утилизации, уничтожения и складирования производственных и бытовых отходов.

Материаловедческое направление ориентировано на минимизацию негативного влияния используемых материалов. При разработке материалов должна учитываться их “дружелюбность” к арктической среде, к примеру, покрытий на сооружения и технические устройства, исключающих попадание (вымывание) вредных компонентов. Целесообразна разработка способов адаптации имеющихся материалов к условиям Арктики, что сократит исследовательские и производственные затраты. Для снижения аварийности требуются надежные, долговечные материалы, поскольку аварии наносят наибольший ущерб окружающей среде. Желательно, чтобы материалы были ремонтируемыми в местах эксплуатации, что сократит расходы и время устранения аварий. Целесообразны разработка и использование ресурсосберегающих (по энергетике и массе) материалов и технологий, включая создание искусственных материалов с высокими функциональными и экономическими показателями, для замены применяемого природного сырья. Например, ранее для опор ЛЭП использовалась качественная древесина, но она недолговечна в эксплуатации и в настоящее время в большом дефиците. Решение проблемы заключается в переходе к опорам из полимерных композиционных материалов, которые не уступают древесине по функциональности и

превосходят ее в долговечности. Этот подход перспективен и для замены деревянных шпал на композиционные. Целесообразно также создание эффективных материалов, в частности сорбирующих материалов, для ликвидации аварийных нефтяных разливов, извлечения естественных и внесенных радионуклидов.

Высокие требования к арктическим материалам делают необходимыми их тщательные испытания по физико-механическим, физико-химическим и другим свойствам. Кроме того, важен и мониторинг по прочностным и эксплуатационным характеристикам устройств и объектов. Для этого требуется разработка методик лабораторных и натурных испытаний, а также сети испытательных центров для материалов и сооружений в АЗРФ.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке темы госзадания № АААА-А17-117020110035.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Арктика // Большая Советская Энциклопедия. 3-е изд. / Гл. ред. А. М. Прохоров. М.: Сов. энциклопедия, 1970. Т. 2. Ангола–Барзас. С. 203–205.
- 2 Указ Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296 “О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации”. (В редакции указов Президента Российской Федерации от 27.06.2017 № 287, от 13.05.2019 № 220, от 05.03.2020 № 164) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/38377> (дата обращения: 15.08.2021).
- 3 Бузник В. М., Каблов Е. Н. Состояние и перспективы арктического материаловедения // Вестник РАН. 2017. Т. 87, № 9. С. 827–839.
- 4 Котляков В. М. Криосфера и климат // Экология и жизнь. 2010. № 11. С. 51–59.
- 5 Конторович А. Э. Энергоресурсы Российского сектора Арктики, главные направления и методы их освоения // Научная сессия Общего собрания членов РАН “Научно-технические проблемы освоения Арктики” / Под ред. Н. П. Лавёрова, В. И. Васильева, А. А. Макоско. М.: Наука, 2015. С. 38–46.
- 6 Бортников Н. С. Стратегические минеральные ресурсы Российской Арктики и проблемы их освоения // Научная сессия Общего собрания членов РАН “Научно-технические проблемы освоения Арктики” / Под ред. Н. П. Лавёрова, В. И. Васильева, А. А. Макоско. М.: Наука, 2015. С. 47–54.
- 7 Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году”. Антропогенное воздействие на окружающую среду Арктической зоны Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://gosdoklad-ecology.ru/2017/arkticheskaya-zona-rossiyskoy-federatsii/antropogennoe-vozdeystvie-na-okruzhayushchuyu-sredu/> (дата обращения: 24.12.2021).
- 8 Лукин Ю. Ф. “Горячие точки” Российской Арктики // Арктика и север. 2013. № 11. С. 4–10.
- 9 Ферсман А. Е. Комплексное использование ископаемого сырья. Л.: Изд-во АН СССР, 1932. 20 с.

- 10 Федоров С. Г., Николаев А. И., Брыляков Ю. Е., Герасимова Л. Г., Васильева Н. Я. Химическая переработка минеральных концентратов Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во К&М. 2003. 196 с.
- 11 Степанько Н. Г., Степанько А. А., Ткаченко Г. Г. Возможные экологические последствия экономического развития северных территорий Дальнего Востока России // Арктика: экология и экономика. 2018. № 1 (29). С. 26–36.
- 12 Косяков Д. С., Боголицын К. Г., Лунин В. В., Карманов А. П., Скребец Т. Э., Попова Н. Р., Малков А. В., Горбова Н. С., Пряхин А. Н., Шкаев А. Н., Иванченко Н. Л. Физическая химия лигнина / под ред. К. Г. Боголицына, В. В. Лунина. М.: Академкнига, 2010. 489 с.
- 13 Коротовская С. В., Орлов В. В., Хлусова Е. И. Управление процессами структурообразования при термомеханической обработке судостроительных и трубных сталей унифицированного химического состава // Металлург. 2014. № 5. С. 71–78.
- 14 Николаев А. И. Основные заповеди технолога при использовании нового сырья // V Междунар. конф.-школа по химической технологии ХТ'16: Сб. тез. докл. сателлитной конф. XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, 16–20 мая 2016 г. Волгоград: ВолгГТУ. Т. 1. С. 141–142.
- 15 Nikolaev A. I., Krivovichev S. V. Prospects for the development of the Kola Chemical Technological Cluster in transition from a resource-based economy to an innovative economy // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2019. Vol. 53, No. 5. P. 933–938.